

FACULTAD DE INGENIERÍA

Carrera de **INGENIERÍA AMBIENTAL**

**“EFICIENCIA EN EL TRATAMIENTO DE AGUAS
RESIDUALES DE UNA EMPRESA CURTIEMBRE
ARTESANAL, MEDIANTE OXIDACIÓN AVANZADA –
FENTON, EN LA CIUDAD DE TRUJILLO, 2022”**

Tesis para optar al título profesional de:

Ingeniera Ambiental

Autor:

Karoline Nikole Rodriguez Purizaca

Asesor:

Mg. Margeo Javier Chuman López
<https://orcid.org/0000-0002-4038-7591>

Lima - Perú

2023

JURADO EVALUADOR

Jurado 1 Presidente(a)	DENISSE MILAGROS ALVA MENDOZA
	Nombre y Apellidos

Jurado 2	MARIETA ELIANA CERVANTES PERALTA
	Nombre y Apellidos

Jurado 3	MARGEO JAVIER CHUMAN LOPEZ
	Nombre y Apellidos

INFORME DE SIMILITUD

Tesis Nikole Rodriguez

ORIGINALITY REPORT

17%	18%	4%	3%
SIMILARITY INDEX	INTERNET SOURCES	PUBLICATIONS	STUDENT PAPERS

PRIMARY SOURCES

1	hdl.handle.net Internet Source	3%
2	repositorio.unfv.edu.pe Internet Source	3%
3	lunazul.ucaldas.edu.co Internet Source	2%
4	Submitted to Universidad Privada del Norte Student Paper	2%
5	repositorio.ucv.edu.pe Internet Source	2%
6	repositorio.untels.edu.pe Internet Source	2%
7	repository.unimilitar.edu.co Internet Source	1%

DEDICATORIA

La presente tesis está dedicada en primer lugar a Dios, porque solo Él puede lograr grandes cosas con su amor y su fidelidad, "Todo lo Puedo en Cristo que me Fortalece." *Filipenses 4:13*

También está dedicado a mi abuelita Clementina por su apoyo incondicional, por su afecto y sus palabras para avanzar hasta la meta; aunque ahora se encuentra al lado de nuestro padre celestial, sus enseñanzas y su ejemplo prevalecerán en mí.

AGRADECIMIENTO

En primer lugar, quiero agradecer a Dios por guiar e iluminar mi camino dándome fortaleza para pasar cada obstáculo en mi vida.

A mis padres por la confianza que depositaron en mí y a la vez agradecer el haberme inculcado valores para ser una mejor persona, a mi amado esposo Marco es quien me alienta a seguir luchando paso a paso por mis metas, a mi linda familia que con su ejemplo de superación me inspiran a seguir creciendo.

También quiero agradecer a Andy y Dany por permitir realizar mi proyecto de investigación en su empresa curtiembre y brindarme las facilidades para aprender en todo su proceso de producción.

A mi asesor el Mg. Javier quien tuvo paciencia en este proceso y me ayudo a mejorar la tesis para lograr el objetivo propuesto, el título.

TABLA DE CONTENIDO

1. JURADO CALIFICADOR	2
2. INFORME DE SIMILITUD.....	3
3. DEDICATORIA	4
4. AGRADECIMIENTO	5
5. TABLA DE CONTENIDO	6
6. ÍNDICE DE TABLAS.....	7
7. ÍNDICE DE FIGURAS	8
8. RESUMEN	9
9. CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN.....	10
9.1. Realidad problemática.....	10
9.2 Formulación del problema.....	17
9.3 Objetivos.....	17
9.4 Hipótesis.....	18
10. CAPÍTULO II: METODOLOGÍA	19
10.1 Parámetros Indicadores.....	21
11. CAPÍTULO III: RESULTADOS	27
12. CAPÍTULO IV: DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES	35
13. REFERENCIAS	38
14. ANEXOS	46

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Parámetros a medir Vs Instrumentos a utiliza

Tabla 2: Parámetros iniciales de la muestra

Tabla 3: Resultados Fisicoquímicos

Índice de figuras

Figura 1: Diseño experimental del proceso de oxidación avanzada

Figura 2: LMP para aguas superficiales de Curtiembre

Figura 3: Valores referenciales de efluentes para alcantarillado y aguas superficiales de curtiembre

Figura 4: Ubicación de la empresa curtiembre

Figura 5: Esquema del diseño experimental del proceso de oxidación avanzada

Figura 6: Porcentaje de Remoción de DBO Eficiencia vs Dosis de $\text{FeSO}_4 \times \text{H}_2\text{O}_2$

Figura 7: Gráfica de intervalos de DBO vs Prueba al 95%

Figura 8: Porcentaje de Remoción de DQO Eficiencia vs Dosis de $\text{FeSO}_4 \times \text{H}_2\text{O}_2$

Figura 9: Gráfica de intervalos de DQO vs Prueba al 95%

Figura 10: Porcentaje de Remoción de SST Eficiencia vs Dosis de $\text{FeSO}_4 \times \text{H}_2\text{O}_2$

Figura 11: Gráfica de intervalos de SST vs Prueba al 95%

Figura 12: Porcentaje de Remoción de Cromo Eficiencia vs Dosis de $\text{FeSO}_4 \times \text{H}_2\text{O}_2$

Figura 13: Gráfica de intervalos de Cromo vs Prueba al 95%

Figura 14: Porcentaje de Remoción de Turbidez Eficiencia vs Dosis de $\text{FeSO}_4 \times \text{H}_2\text{O}_2$

Figura 15: Gráfica de intervalos de Turbidez vs Prueba al 95%

RESUMEN

Las empresas curtiembres son las que generan mayor volumen de efluentes contaminantes, por lo que se debe considerar las consecuencias al medio ambiente y la salud al verter estos desechos sin previo tratamiento. La presente tesis tiene como objetivo demostrar la eficiencia del tratamiento de aguas residuales por oxidación avanzada de una empresa curtiembre artesanal mediante el proceso Fenton y encontrar la dosis más adecuada de remoción de estos contaminantes. Se realizaron 9 muestras (1 muestra inicial y 8 ensayos), de diferentes dosificaciones de H_2O_2 (peróxido de hidrogeno) y $FeSO_4$ (sulfato ferroso). La muestra inicial se utilizó para la comparación y análisis de los diferentes parámetros: pH, SST, DQO, DBO, Cromo y turbidez. El análisis estadístico de los parámetros nos indicó la eficiencia de cada muestra con dosis diferentes de la fase experimental. En conclusión, se pudo determinar que la mejor dosis en el planteamiento es de 250 mg/L de $FeSO_4$ por 10 ml/L de H_2O_2 al 50%, tomando en cuenta que el tiempo de reacción en el proceso fue de 30 minutos, lo que nos lleva a inferir que el tiempo es un factor importante; es decir a mayor tiempo mayor remoción y eficiencia del método de oxidación avanzada-fenton.

PALABRAS CLAVES: Aguas residuales, industria curtiembre, oxidación avanzada

CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

1.1. Realidad problemática

El crecimiento poblacional y el desarrollo de las industrias ha generado el incremento de las aguas residuales a nivel mundial (UNESCO, 2017). Estos efluentes presentan una composición fisicoquímica variada lo cual limita escoger un tratamiento adecuado, Por ello es demandado el desarrollo de tecnologías para poder tratar y valorizar adecuadamente estos efluentes tanto urbanos como industriales, en el marco de la economía circular y la sostenibilidad (Sivagami et al., 2019). Desde la época precolombina, una de las actividades humanas más antiguas es la obtención de pieles a partir del cuero de animales (Grömer et al., 2017); actividad que con la llegada de los españoles y los conocimientos de la curtición se consolidó en el continente sudamericano. En los procesos de la curtición se realizan diferentes operaciones unitarias lo que generan volúmenes considerables de aguas residuales; en los procesos de pelambre, desencalado, curtido, recurtido y teñido (Vilardi et al., 2018). La parte más compleja del proceso es la etapa de pelambre o depilado, lo cual genera valores elevados de DQO, DBO y SST por sus elevadas concentraciones de materia orgánica, cal y sulfuro de sodio (Jian et al., 2011). El valor del pH de las aguas residuales generadas por la industria curtiembre es muy variable, es así que en las operaciones de pelambre el pH es superior a 11 unidades y en el piquelado de la piel menor a 4 unidades, además presentan altas concentraciones de SST (840 Kg/Ton piel), DQO (1042 Kg/Ton piel), sulfuros (87 Kg/Ton piel), cromo (3.3 Kg/Ton piel) y cloruros (412 Kg/Ton piel). (Aboulhassan et al, 2008).

Los efectos perjudiciales de los contaminantes de la industria curtiembre son muy peligrosos para el medio ambiente y para la salud, por lo que se debe considerar las consecuencias que se evidencian al verter estos efluentes sin tratamiento previo y el mal manejo de los residuos orgánicos (Dirección de Investigación, 2018).

Algunos Aspectos ambientales que se han logrado identificar en esta industria son: los volúmenes de agua en sus diferentes procesos, el uso de sustancias químicas, el vertimiento de efluentes y la generación de residuos peligrosos; todos estos generan un impacto ambiental negativo por la cantidad de efluentes líquidos, agotamiento de los recursos naturales, afectación a los trabajadores y población aledaña.

La mayoría de empresas curtiembres en el Perú son artesanales o pequeñas empresas, por ejemplo: solo en la ciudad de Lima se encuentran al menos 100 empresas curtiembres ubicadas en áreas urbanas; también encontramos empresas curtiembres en Trujillo y Arequipa; estas empresas al no contar con la información de nuevas tecnologías de control, principalmente en la etapa del curtido, continúan utilizando procesos convencionales; una de las etapas más importantes y al mismo tiempo una de las más contaminantes de la curtición es el pelambre o depilado de la piel; el cual consiste en la eliminación del pelo mediante un hinchamiento alcalino provocado por el hidróxido de calcio ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) y la adición de sulfuro de sodio (Na_2S) para así mediante este proceso lograr eliminar la capa proteica de la raíz de los pelos de la piel (Melgar, 2019).

La falta de regulación a las normas vigentes en la industria curtiembre en el Perú y falta de conocimiento en nuevas tecnologías de tratamiento de aguas residuales genera esta problemática más urgente, ya que se ve la necesidad de proponer soluciones innovadoras para lograr mitigar el impacto que los contaminantes presentes en los efluentes de sus aguas residuales generan al medio ambiente y a la salud. Por ejemplo, en el curtido del cuero se generan elevadas cantidades de polvo y sulfuro de hidrogeno, también existen otras emisiones gaseosas que provienen de la separación del amoníaco y las calderas. En estos procesos se generan desperdicios sólidos en forma de carne, recorte de las pieles, polvo arenoso, lodos, grasas y otros. La dermatitis constituye el peligro principal para la salud y accidentes causados por químicos. Los otros riesgos para la salud ocurren a raíz de la exposición al polvo, químicos tóxicos y el carbono. (Blogspot, 2014).

La propuesta de una alternativa accesible en la industria curtiembre son los métodos PAOs (procesos de oxidación avanzada - Fenton) basado en la combinación de peróxido de hidrógeno el cual actúa como catalizador para la formación de radicales HO• lo que acelera la degradación de compuestos tóxicos (Bianco et al., 2011).

En las siguientes líneas se presenta los antecedentes relacionados al tema de investigación:

Silva (2016): "Efecto del coagulante Alúmina en la remoción de sulfuros y sólidos suspendidos del efluente de pelambre, Inversiones Harod S.A.C. Lima – Perú", Utilizaron polielectrolito aniónico como floculante y el sulfato de aluminio como coagulante. Se realizó una evaluación de la influencia del pH, la concentración del coagulante y la velocidad de agitación, en efluentes del pelambre de una curtiembre; Como resultado se obtuvo que el pH óptimo para este proceso de 9, considerando una concentración de coagulante más efectiva de 1500ppm, logrando una remoción significativa del 85.87% de sulfuros y 98.5% de sólidos suspendidos a velocidad de agitación óptima de 200 rpm.

Sosa & Hoyos (2016): "Determinación de las concentraciones óptimas de peróxido de hidrógeno y iones en la reducción de la demanda bioquímica de oxígeno en vinazas mediante el proceso Fenton, Lambayeque, Perú", el objetivo de esta investigación fue determinar las concentraciones óptimas de peróxido de hidrógeno en iones para disminuir en forma significativa el DBO en vinazas tratadas con el proceso Fenton. Recolectaron varias muestras de efluente de una de las destilerías ubicadas en el distrito de La Victoria, las cuales se le aplicaron el proceso de oxidación avanzada Fenton, en este caso utilizaron diferentes dosificaciones de FeS con un tiempo de reacción de 1 hora y pH de 4,3. Lograron un porcentaje de remoción de 78.5% a una concentración de 600mg/L de H_2O_2 y 120 mg/L de ion F

el cual resulto óptimo para el proceso de reducción del DBO.

Jarrin, (2016): "Reducción De Sulfuros En El Agua Residual De La Industria De La Curtiembre", esta investigación fue realizada en Quito, Ecuador.

Primero se realizó el pretratamiento al efluente mediante filtración, neutralización del pH con HCl y clarificación con la dosificación de 2800 ppm del coagulante PAC. Se le aplicó al efluente el sistema Fenton (proceso de oxidación avanzada) mediante una inyección de aire, se fue aplicando diferentes dosificaciones de peróxido de hidrogeno de 500, 1000 y 2000 ppm y sulfato de hierro (II) 25, 50, 75 ppm; a 2, 3 y 4 horas de reacción.

Este tratamiento requirió de reactivos como peróxido de hidrógeno y FeS sulfato de hierro, los cuales son de fácil acceso y bajo costo; este tratamiento se podría aplicar a gran escala de manera industrial como un pretratamiento para la reducción de sulfuros en curtiembres.

Curo & Mendoza, (2020): "Tratamiento de efluentes de la industria de curtiembre, etapa pelambre mediante electro – Fenton", se realizó la aplicación del proceso Electro-Fenton en el tratamiento de los efluentes provenientes de la etapa del pelambre en la industria curtiembre, mediante esta investigación se demostró a través del uso de electrodos de Hierro (Cátodo) y Rutenio (Ánodo) la reducción de la Demanda Química de Oxígeno (DQO), Solidos Suspendidos Totales (SST) y Turbidez, así como la aplicación de la corriente eléctrica. Para el diseño Taguchi la remoción máxima del DQO fue del 87.77% en óptimas condiciones de 9.75 mA/cm², 18 min y 55.5 ml/L de H₂O₂, mientras que para el SST el porcentaje de remoción fue de 91.24% en condiciones óptimas de 5.42 mA/cm², 18 min y 111 ml/L y en cuanto a la Turbidez el porcentaje de remoción fue de 100% en condiciones óptimas de 5.42 mA/cm², 10min y 55.5 ml/L.

Agudelo et al., (2020): "Aplicación de foto Fenton (VIS) para la remoción de sulfuros y DQO en aguas residuales de curtiembre", este estudio realizado en Colombia propone un proceso de oxidación avanzada mediante la adición de peróxido de hidrógeno y cloruro férrico como catalizador (reactivo de Fenton) y el uso de lámparas LED de luz visible como fuente de energía para la fotólisis de los contaminantes, el diseño experimental utilizado fue con tiempos de reacción fija de 6 h. El análisis del efecto del pH y la dosis de peróxido (H_2O_2 y $FeCl_3$) dieron como respuesta el porcentaje de remoción de sulfuros y DQO, se realizaron análisis donde se halló que se logra un mayor porcentaje de remoción de sulfuros cuando el pH inicial se encuentra entre 5 y 6 unidades, mientras que la remoción de DQO depende de la concentración de H_2O_2 aplicada, además, el uso de radiación visible suministrada por lámparas LED para intensificar el proceso de oxidación resulta favorable de acuerdo con el análisis estequiométrico realizado de conformidad con la dosis de agente oxidante empleado.

En las líneas siguientes se presenta las bases teóricas para complementar el estudio realizado:

Las aguas residuales son aquellos líquidos resultantes de uso doméstico, comercial, agrícola, pecuario e industrial, ya sea público o privado de variada composición y que haya sufrido un cambio o degradación en su calidad original.

Tratamiento de aguas residuales se utilizan con el propósito de depurar las aguas residuales hasta un nivel que permita mejorar la calidad de estas aguas, es un conjunto de operaciones y de procesos físicos, químicos y biológicos, para su disposición final, o su aprovechamiento mediante el reúso (SINIA).

La Curtición de pieles es el proceso que mediante el cual se estabiliza las propiedades de piel animal, por los cambios naturales de descomposición y putrefacción.

Las pieles que se usan en un calzado son generalmente de vacuno o caprino y las que se usan para forros son de ganado o porcino.

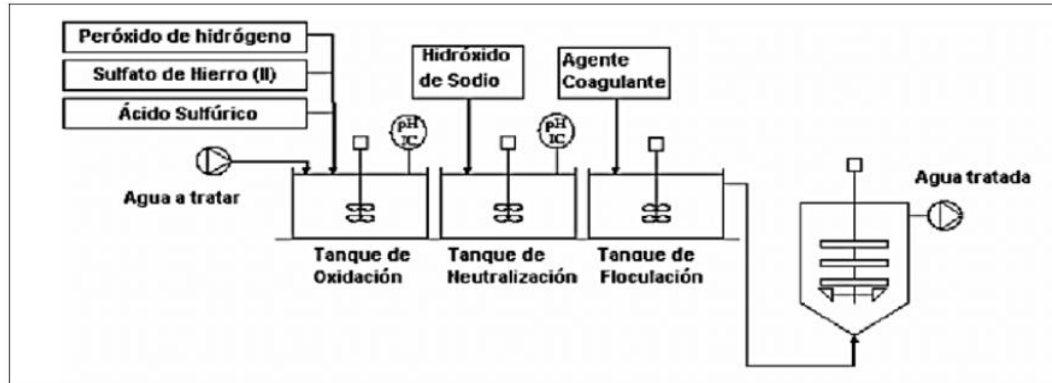
El Proceso de Oxidación Avanzada Fenton es una reacción producida con peróxido de hidrógeno y sal de hierro (II), este método es viable y a la vez eficiente para poder aplicar en efluentes generados por las actividades industriales. Este método cuenta con bajos precios en el mercado nacional y con óptimas condiciones de reacción ya que tiene una alta efectividad en la descontaminación de aguas provenientes de la industria petroquímica, textil, farmacéutica, papelera, curtiembre. (Babuponnusami y Muthukumar, 2014).

Es un método efectivo para lograr la degradación de contaminantes orgánicos, este método ha sido descrito por H.J. Fenton en 1894, fue quien verifico la oxidación del ácido tartárico en ácido dihidroximalénico en presencia de Fe(II) e hidrógeno y las denominó "Reactivo de Fenton", este método ocurre en medio ácido donde forman radicales hidroxilo responsables de la degradación: el Fe(II) es el responsable de catalizar la reacción para que se lleve a cabo este proceso. (Rahim et al., 2015).

Mediante estos procesos se logra la degradación parcial o total de contaminantes inorgánicos y contaminantes orgánicos persistentes, reduciendo considerablemente la toxicidad de las aguas residuales. (Durán et al., 2011).

Figura 1:

Esquema Del Proceso Fenton A Escala Industrial (Huilcarema, K., 2016)



Se presenta el esquema del proceso Fenton a una escala industrial paso a paso desde el ingreso hasta el producto final (Agua tratada).

Ecuación 1

Proceso Fenton



Contaminantes orgánicos + HO• → Subproductos de degradación

Disociación de las sales férricas y H₂O₂ en la ecuación 1 y la 2.



La reacción de Fenton mejora la eficiencia al aumentar la concentración de H₂O₂ y de Fe²⁺, porque hay una mayor producción de radicales HO•. Sin embargo, un exceso en la dosificación de H₂O₂, se convierten en demanda química de oxígeno (DQO) remanente.

Eficiencia de Remoción

$$\% \text{Remoción} = \frac{\text{Concentración } Af - \text{Concentración } Ef}{\text{Concentración } Af} * 100 \quad (1)$$

Af : Afluente; *Ef* : Efluente

En la actualidad existen diferentes fuentes de contaminación y entre ellas se encuentra la industria curtiembre, se ha podido analizar que en nuestro país son empresas pequeñas dedicadas a este rubro y la mayor dificultad que se evidencia es la falta de tecnologías aplicadas al tratamiento de aguas residuales, el uso desmedido e irracional del agua para el procesamiento del cuero, es aproximadamente de 1000 litros de agua por cada cuero procesado, creando un mayor volumen de efluentes y residuos sólidos que se vierten constantemente a los afluentes (Greenpeace, 2012).

1.2. Formulación del problema

¿De qué manera el tratamiento de oxidación avanzada genera efectos en las aguas residuales de una empresa Curtiembre artesanal mediante el proceso Fenton, Trujillo-2022?

1.3. Objetivos

Objetivo General:

El objetivo principal de la investigación es demostrar la eficiencia del tratamiento por oxidación avanzada en aguas residuales de una empresa curtiembre artesanal mediante el proceso Fenton.

Objetivos Específicos:

- Determinar los parámetros fisicoquímicos (DBO, DQO, pH, Sólidos Totales, Cromo, Turbidez) en aguas residuales provenientes de la industria curtiembre antes y después de ser tratadas por el proceso de oxidación avanzada - Fenton.

- Encontrar la dosis de peróxido de hidrógeno H_2O_2 y sulfato de hierro $FeSO_4$ más eficiente para la remoción de contaminantes.

1.4. Hipótesis

El tratamiento de aguas residuales por oxidación avanzada – Fenton si es eficiente y produce efectos positivos en las aguas residuales de una empresa curtiembre artesanal reduciendo los contaminantes presentes, Trujillo - 2022.

CAPÍTULO II: METODOLOGÍA

La presente tesis tiene un enfoque de metodología cuantitativa, para la verificación de la hipótesis fundamentada con el conocimiento teórico y avanzar en la formación de una teoría todavía en fase de desarrollo (Azüero, 2019).

En este caso se utilizó la recolección de datos con medición numérica para lograr obtener la respuesta de la pregunta planteada sobre los efectos y el porcentaje de remoción que genera el tratamiento de oxidación avanzada en las aguas residuales que provienen de una empresa curtiembre artesanal mediante el proceso Fenton; se cuenta con un diseño experimental, se caracteriza por la intervención intencionada y programada en la que se manipulan una o más variables con el fin de analizar las consecuencias que esta manipulación ejerce sobre otras variables (Pérez y Müggensburg, 2007). Así mismo presenta un corte longitudinal en la recolección de los datos a través del tiempo, en períodos especificados, con el fin de hacer inferencias respecto al cambio, sus determinantes y sus consecuencias (Pérez y Müggensburg, 2007).

La población de la presente tesis son los efluentes de curtiembre generados por el proceso de curtido de pieles. (Hernández, 2014), la muestra es un subgrupo o pequeño grupo de la población de interés en el cual se recolectan datos y que tiene que definirse o determinarse con precisión. Se obtuvo la muestra por medio de un muestreo aleatorio simple, se recolectaron 12 litros de agua residual de la empresa curtiembre artesanal para su posterior análisis fisicoquímico.

La técnica de procesamiento de datos para lograr identificar la información recolectada en campo de la parte experimental es un instrumento de medición es el recurso que utiliza el investigador para registrar información o datos sobre las variables que tiene en mente. (Fernández y Baptista, 2010)

El programa SPSS, junto con el BMDP O MINITAB ® son las herramientas más utilizadas en investigación aplicada a las Ciencias Sociales (Bisquerra, 1989). En ese sentido para procesar los datos se utilizó los softwares Excel y MINITAB.

Los resultados obtenidos en el ensayo fueron tabulados y ordenados en una tabla de Excel 2016, para luego desarrollar la prueba estadística en base al software MINITAB, el cual permitió evaluar la variable independiente (Oxidación Avanzada – Fenton) y la variable dependiente (remoción de parámetros); mediante la estadística descriptiva de tablas y graficas de datos. Este análisis de datos permitió conocer la dosis óptima para el tratamiento con peróxido de hidrógeno y sulfato de hierro, y conocer finalmente las eficiencias en la remoción de estos contaminantes.

Además, en el presente trabajo de investigación se utilizaron diversos instrumentos para lograr los resultados verídicos y así poder realizar la comparación de la muestra inicial sin tratamiento y final con el tratamiento según los valores arrojados en el laboratorio.

Normas legales vigentes de los Límites Máximos Permisibles en efluentes de tratamiento de aguas residuales en la industria Curtiembre mediante el DECRETO SUPREMO N° 003-2002-PRODUCE.

Tabla 1

Parámetros para medir vs Instrumentos a utilizar

Parámetros	Equipos
pH	pHmetro
Temperatura C°	Termómetro de mercurio
Turbidez	Turbidímetro
Solidos Suspendidos Totales	Laboratorio
DQO	Laboratorio
DBO	Laboratorio

Nota: DQO: Demanda Química de Oxígeno, DBO: Demanda Bioquímica de Oxígeno.

Parámetros Indicadores:

pH: Potencial de hidrógeno con este parámetro encontramos cual es la concentración de los iones H⁺ que están presentes en el agua, el pH está expresado como el logaritmo negativo de la concentración molar del ion hidrógeno (H⁺) (López y Blanco, 2017).

Temperatura C°: Es una magnitud intensiva, relacionada directamente con la Energía Cinética molecular media de las partículas y en consecuencia, con la agitación de las mismas.

Turbidez: Se mide a través de la cantidad de luz dispersada y absorbida por las partículas en una columna de agua. Este parámetro es una propiedad óptica de los cuerpos de agua (Michaud, 1991).

Sólidos Suspendidos: Es el material particulado que se mantiene en suspensión en las corrientes de agua superficial y/o residual.

Sólidos Totales: Los sólidos pueden ser orgánicos y/o inorgánicos provenientes de diferentes actividades domésticas, comerciales e industriales. Todos los contaminantes presentes en el agua, a excepción de los gases disueltos, contribuyen a la "carga de sólidos".

DQO: Demanda química de oxígeno (DQO) es la cantidad de oxígeno disuelto que es consumido por el agua residual durante la oxidación química, producido por un químico altamente oxidante.

DBO: Demanda bioquímica de oxígeno; es la cantidad de oxígeno disuelto que es consumido por un agua residual en la oxidación biológica, de la materia biodegradable que se encuentra en dicha agua residual.

Figura 2

LMP para aguas superficiales de Curtiembre

LÍMITE MÁXIMO PERMISIBLE DE EFLUENTES PARA AGUAS SUPERFICIALES DE LAS ACTIVIDADES DE CEMENTO, CERVEZA, PAPEL Y CURTIEMBRE

PARÁMETROS	CEMENTO		CERVEZA		PAPEL		CURTIEMBRE	
	EN CURSO	NUEVA	EN CURSO	NUEVA	EN CURSO	NUEVA	EN CURSO	NUEVA
PH	6 - 9	6 - 9	6 - 9	6 - 9	6 - 9	6 - 9	5.0 - 8.5	5.0 - 8.5
Temperatura (°C)	35	35	35	35	35	35	35	35
Sólidos Susp. Tot. (mg/l)	50	30	50	30	100	30	50	30
Aceites y Grasas (mg/l)			5	3	20	10	25	20
DBO ₅ (mg/l)			50	30		30	50	30
DQO (mg/l)			250	50		50	250	50
Sulfuro (mg/l)							1	0.5
Cromo VI (mg/l)							0.3	0.2
Cromo Total (mg/l)							2.5	0.5
Coliformes Fecales, NMP/100 ml							4000	1000
N - NH ₄ (mg/l)							20	10

*En curso: se refiere a las actividades de las empresas de los subsectores (curtiembre) que a la fecha de vigencia del presente Decreto Supremo N° 003-2002-PRODUCE.

**Nueva: Se refiere a las actividades de las empresas de los subsectores (cemento, papel y curtiembre) que se inicien a partir de la fecha de vigencia del presente Decreto Supremo N° 003-2002-PRODUCE.

Figura 3

Valores referenciales de efluentes para alcantarillado y aguas superficiales de curtiembre

VALORES REFERENCIALES DE EFLUENTES PARA ALCANTARILLADO Y AGUAS SUPERFICIALES DE LAS ACTIVIDADES EN CURSO DE LOS SUBSECTORES CURTIEMBRE Y PAPEL

PARÁMETROS	CURTIEMBRE (Alcantarillado)	PAPEL	
		Aguas Superficiales	Alcantarillado
Grado de Acidez o Alcalinidad (pH)	6.5 - 9.5		
Demanda Química de Oxígeno (DBO ₅), mg/l	1000	250	1000
Demanda Química de Oxígeno (DQO) mg/l	2500	1000	3000
Sólidos Suspendidos Totales (SST), mg/l	1000		
Sulfuro, (mg/l)	10		
Cromo + 6 (mg/l)	0.5		
Cromo Total (mg/l)	5		
Nitrógeno Amoniacal (N - NH ₄),mg/l	50		

*En curso: se refiere a las actividades de las empresas de los subsectores (curtiembre) que a la fecha de vigencia del presente Decreto Supremo N° 003-2002-PRODUCE.

El agua residual analizada fue tomada de la empresa curtiembre artesanal que se dedicada al curtido y adobo de cueros, adobo y teñido de pieles.

Se encuentra ubicada en el parque industrial de la esperanza, ciudad de Trujillo, departamento de La Libertad. La variable dependiente es la caracterización de las aguas residuales de Curtiembre: DBO, DQO, pH, Sólidos Totales, Cromo, Turbidez.

Figura 4: *Ubicación Satelital y Fotografía in situ de la empresa Curtiembre*



Las muestras fueron tomadas de forma manual directamente de las aguas residuales de la empresa curtiembre después del proceso del curtido, es un tipo de muestra compuesta eso quiere decir que todas las muestras que han sido recolectadas fueron vertidas en un solo recipiente y distribuidas en 12 botellas de plástico duro (politetrafluoretileno o polietileno) de 1L de capacidad.

Posteriormente estas muestras recolectadas fueron trasladadas de Trujillo en un cooler hacia el laboratorio SLAB PERU (Sistema de servicios y análisis químicos SAC) que se encuentra acreditado bajo la norma técnica peruana NTP-ISO/IEC 17025:2017 – requisitos generales para la competencia de los laboratorios de ensayo y calibración; ubicado en la Calle 22 Urb. Vipol Naranjal Mz. E Lt. 07 - SMP en la ciudad de Lima.

Esta técnica de muestreo se realizó para ejecutar la prueba de jarras de manera homogénea y medir los parámetros fisicoquímicos deseados del cuerpo de agua (SENASBA, 2015) como pH, SST, DQO, DBO, Cromo y turbidez.

La prueba de Jarras es la técnica que más se utiliza para el cálculo de la dosis de sustancias químicas y otros parámetros. En esta prueba se simulan los procesos de coagulación, floculación y sedimentación a nivel de laboratorio. (Agreda y Domínguez, 2018). La prueba de jarras es una prueba de laboratorio que permite determinar las dosis de reactivos mezcla y velocidades requeridas para alcanzar objetivos definidos de calidad en una muestra de agua (Araníbar, 2016).

En esta prueba intervienen factores químicos e hidráulicos, así tenemos: i) pH, ii) Temperatura, iii) Concentración de Coagulante, iv) Secuencia de aplicación de sustancias químicas, v) Grado de agitación, vi) Tiempo de sedimentación.

Se realizó un análisis exploratorio para así determinar la dosis del reactivo Fenton en las pruebas. Para la obtención de los resultados se realizaron pruebas al inicio y fin del procedimiento, para así obtener una comparación del porcentaje de remoción en los diferentes parámetros que se analizaron.

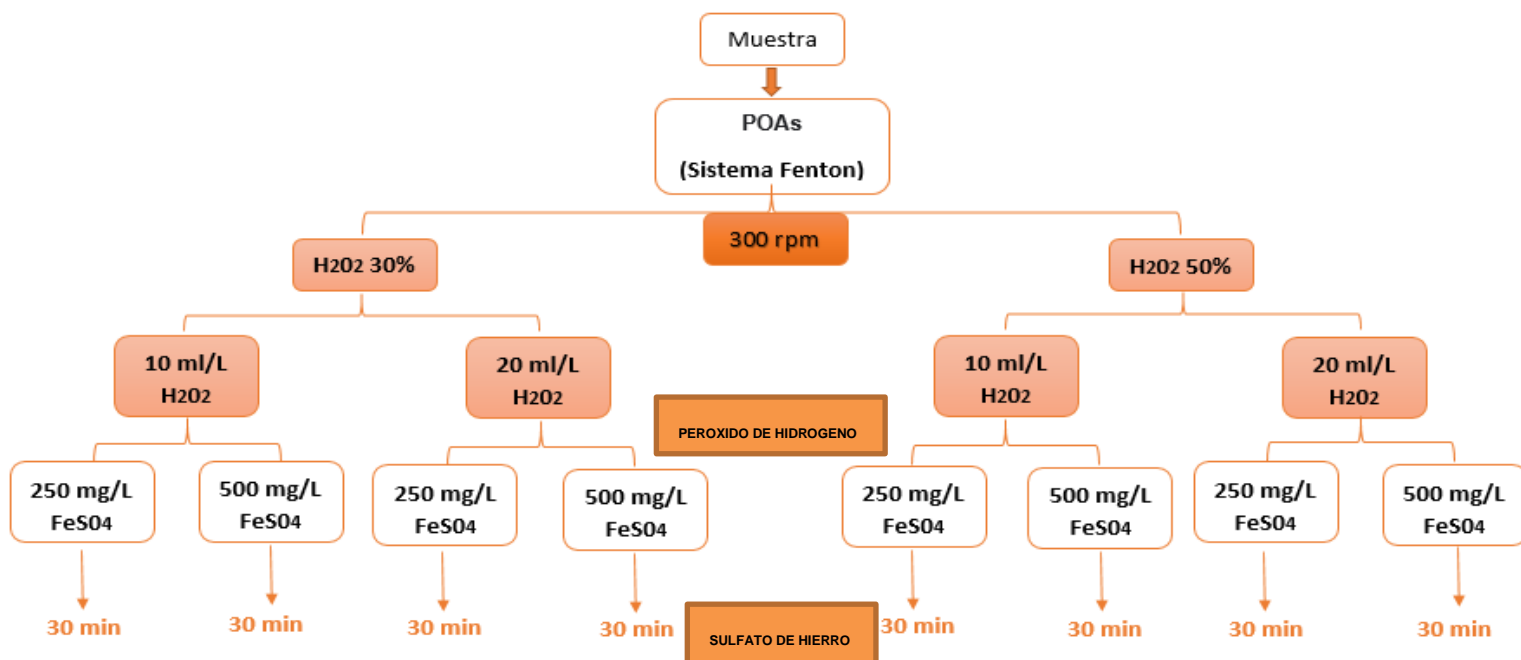
Luego del análisis exploratorio se procedió a realizar la prueba de jarras, para ello se emplearon 4 jarras de 2 L cada una y cada jarra fue llenada con un litro de agua residual, a excepción de una jarra que no será llenada en una de las pruebas, y se midieron los parámetros fisicoquímicos después de la prueba de jarras realizada. El tratamiento para el agua residual fue el proceso Fenton, el cual fue realizado a una velocidad de 300 rpm (revoluciones por minuto) (Terán et al., 2015) por 30 min.

Se recolecto los datos obtenidos en el laboratorio para ser procesados en un Excel y posteriormente al programa MINITAB, estos resultados fueron analizados y comparados con la muestra inicial para poder evidenciar el porcentaje de remoción de contaminantes.

Para la validez y confiabilidad de datos los instrumentos fueron debidamente calibrados.

Figura 5

Esquema del diseño experimental del proceso de oxidación avanzada



Se presenta el resumen de la metodología en el siguiente esquema, detallando las dosis y los porcentajes de cada reactivo según el número de muestras y todas con un tiempo de 30min.

Se recolectaron 9 muestras, 8 ensayos con diferentes concentraciones de H_2O_2 peróxido de hidrogeno y $FeSO_4$ sulfato ferroso, una muestra inicial para realizar la comparación de los diferentes parámetros analizados.

Se realizó un análisis exploratorio de datos para determinar la cantidad de dosis de $\text{Fe}^{2+}/\text{H}_2\text{O}_2$ (reactivo Fenton) para las pruebas.

La presente tesis de investigación está basada en el método científico, se ha logrado verificar la cita de todas las fuentes que han sido consultadas y consideradas para el presente trabajo de investigación con información confiable y sustentada, agregar que toda esta información recolectada son datos reales y serán usados solo con fines académicos.

CAPÍTULO III: RESULTADOS

Este diseño experimental tuvo como objetivo demostrar la eficiencia del tratamiento por oxidación avanzada determinando la dosis del peróxido de hidrogeno (H_2O_2) en la remoción de contaminantes presentes en aguas residuales de la empresa curtiembre artesanal. Los factores evaluados fueron: la dosis de sulfato ferroso ($FeSO_4$), la dosis de peróxido de hidrogeno (H_2O_2) y el tiempo (t); en este caso todas las muestras se realizaron en un tiempo $t = 30$ min.

En primer lugar, se analizó 1L de la muestra de agua residual recolectada de la empresa curtiembre artesanal para conocer los valores de los parámetros fisicoquímicos:

Tabla 2

Valores De La Muestra Vs LMP Curtiembre

Parámetros	Valores de la muestra	LMP Curtiembre
DBO	1990.95	1000
DQO	3981.89	2500
Turbidez	1206.0	-
SST	264.0	1000
Cromo	12.59	5

En la tabla 2, se puede apreciar las características físicoquímicas de la muestra de aguas residuales extraída de la empresa curtiembre artesanal, en la que se realizó una comparación con los LMP (limite máximo permisible) de los efluentes de la industria curtiembre, los valores de la muestra sobrepasan los valores estandarizados.

Tabla 3

Resultados Fisicoquímicos

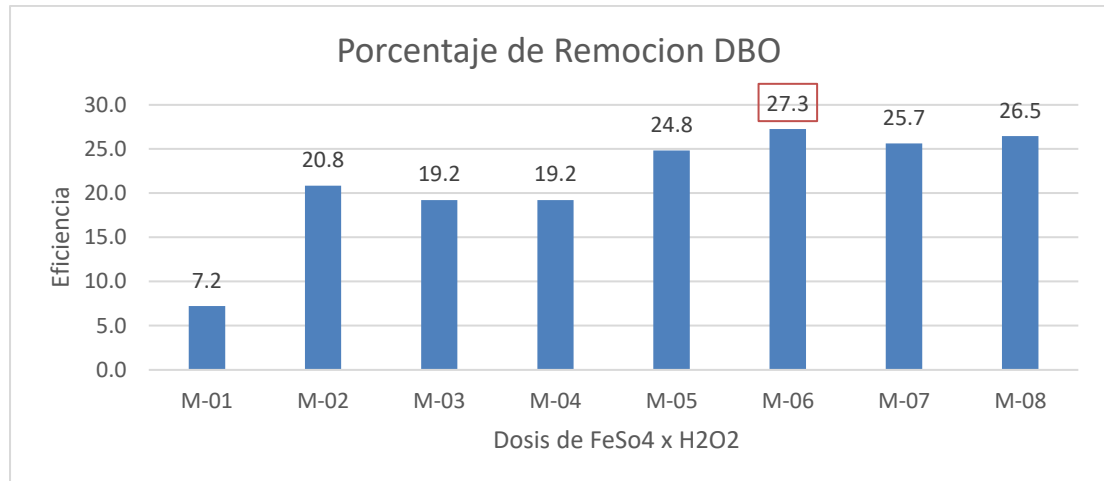
Resultados Fisicoquímicos								
Código	FeSO ₄ (mg/L)	H ₂ O ₂ 30% (ml/L)	H ₂ O ₂ 50% (ml/L)	DBO (mg/L)	DQO (mg/L)	SST (mg/L)	Cromo (mg/L)	Turbidez NTU
M-00	-	-	-	1990.95	3981.89	264	12.59	1206
M-01	250	10	-	1847.32	3694.64	212	10.14	621
M-02	250	20	-	1576.02	3152.04	180	6.95	293
M-03	250	-	10	1607.94	3215.88	104	4.83	157
M-04	250	-	20	1607.94	3215.88	132	6.37	200
M-05	500	10	-	1496.23	2992.46	100	5.12	124
M-06	500	20	-	1448.35	2896.7	88	11.52	284
M-07	500	-	10	1480.27	2960.54	92	7.25	186
M-08	500	-	20	1464.31	2928.62	240	7.76	373

En la tabla 3, se detalla el código de las 8 muestras con las diferentes dosis evaluadas para lograr la eficiencia en la remoción de contaminantes. La dosis de la muestra M-06 presenta una dosis de 500 mg/L de $FeSO_4$ sulfato ferroso por 20 ml/L de H_2O_2 peróxido de hidrogeno al 30%, esta dosificación ha logrado la remoción de la mayor cantidad de parámetros evaluados, sin embargo, estos no son menores a los LMP (límite máximo permisible); al verificar la reducción de cromo que es metal pesado altamente contaminante al medio ambiente y la salud podemos evidenciar que se logró reducir hasta un 61.64% con la dosis M-03 de 250 mg/L de $FeSO_4$ sulfato ferroso por 10 ml/L de H_2O_2 peróxido de hidrogeno al 50%. Según la hipótesis planteada: El tratamiento de aguas residuales por oxidación avanzada – Fenton si es eficiente y produce efectos positivos en las aguas residuales de una empresa curtiembre artesanal reduciendo los contaminantes presentes,

Trujillo - 2022. Se ha logrado evidenciar el porcentaje de remocion según las diferentes dosis.

Figura 6

Porcentaje De Remoción de DBO Eficiencia Vs Dosis de $FeSO_4 \times H_2O_2$



Se puede evidenciar la eficiencia de remoción al 27.3% en la DBO en la muestra M-06 que presenta una dosis de 500 mg/l de $FeSO_4$ por 20 ml/L de H_2O_2 al 30% en comparación a las otras muestras con diferentes dosis.

Figura 7

Gráfica De Intervalos De DBO Vs Prueba Al 95%

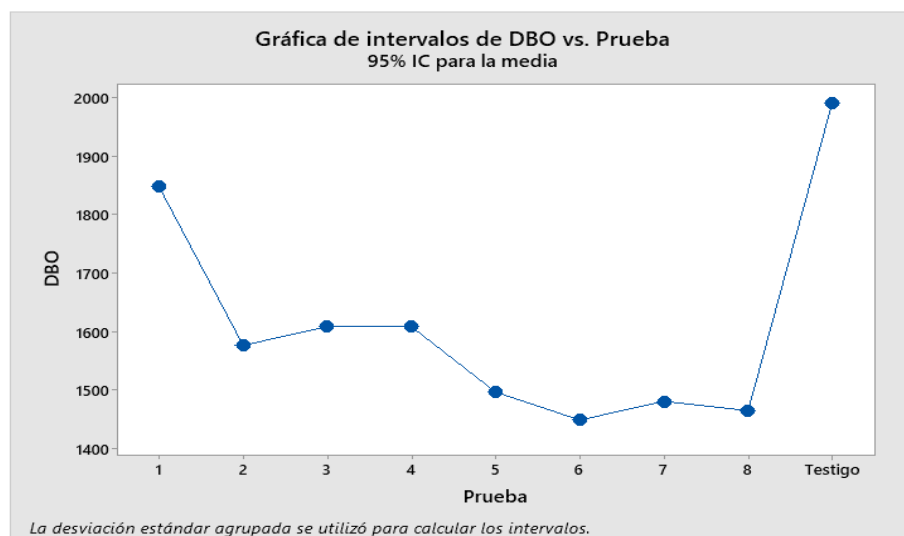
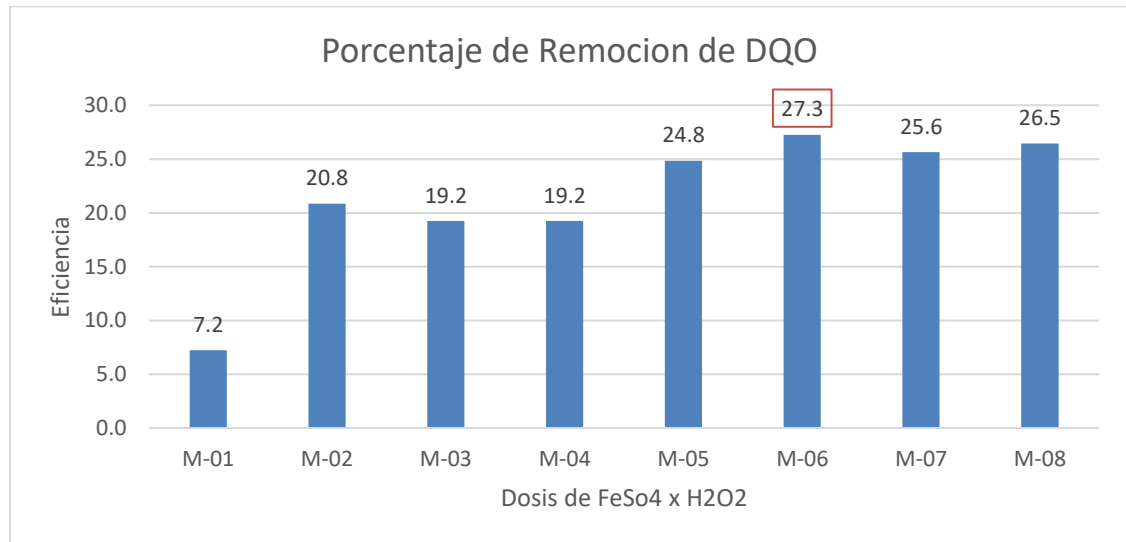


Figura 8

Porcentaje De Remoción De DQO Eficiencia Vs Dosis De $FeSO_4$ X H_2O_2



Al igual que en la figura 6, se puede evidenciar un efecto de remoción en 27.3% en la DQO en la muestra M-06 que presenta una dosis de 500 mg/L de $FeSO_4$ por 20 ml/L de H_2O_2 al 30% en comparación a las otras muestras con diferentes dosis.

Figura 9

Gráfica de intervalos de DQO vs Prueba al 95%

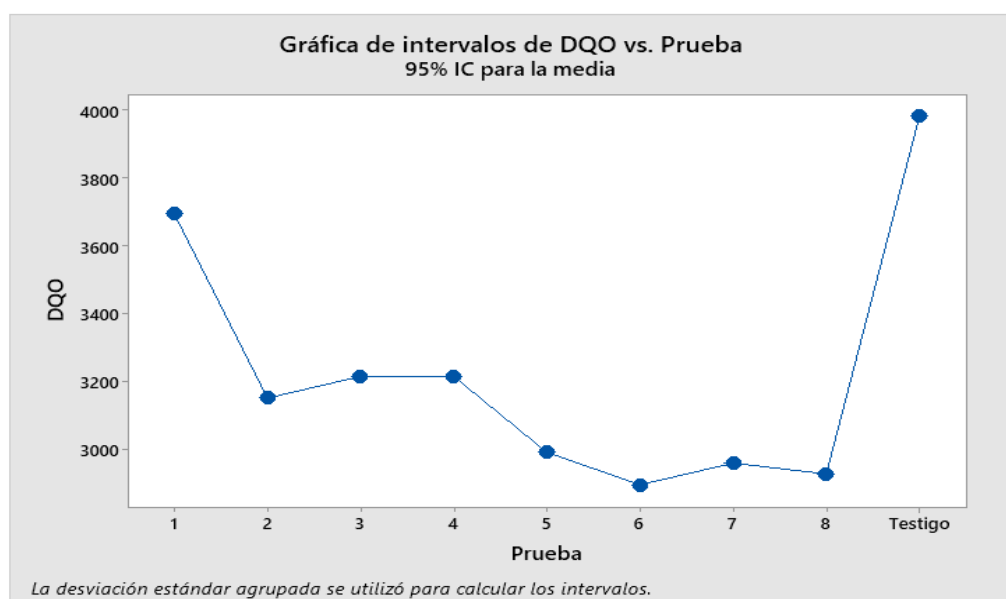
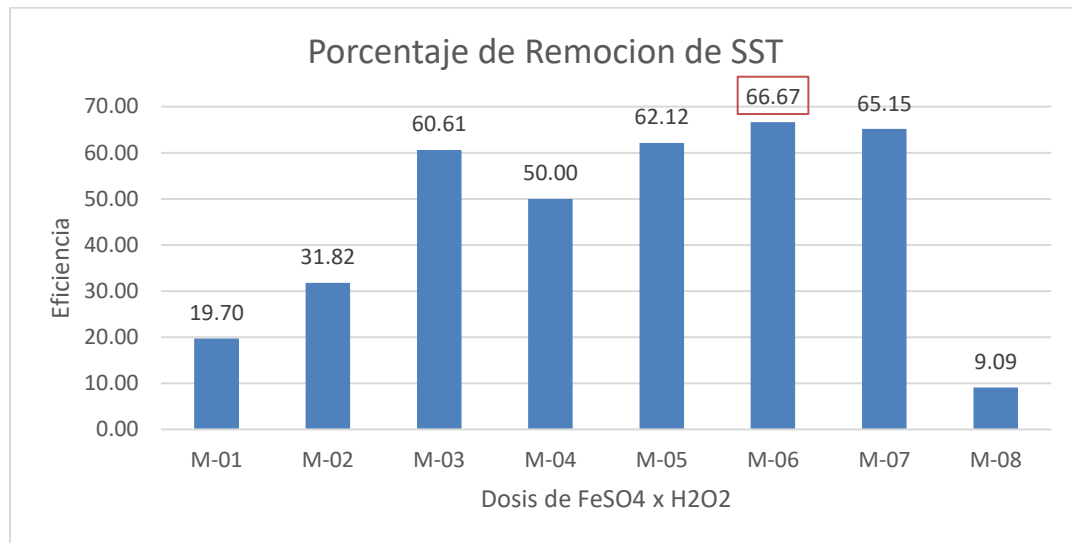


Figura 10

Porcentaje de Remoción de SST Eficiencia vs Dosis de $FeSO_4 \times H_2O_2$



Para la remoción de SST la dosis óptima para su efecto son 500 mg/L de $FeSO_4$ por 20 ml/L de H_2O_2 al 30%, a este punto se ha logrado establecer que tanto en DBO, DQO Y SST la dosis presente en la muestra M-06 es la más adecuada y de mejor resultado en eficiencia para remover los contaminantes presentes en estas aguas residuales.

Figura 11

Gráfica de intervalos de SST vs Prueba al 95%

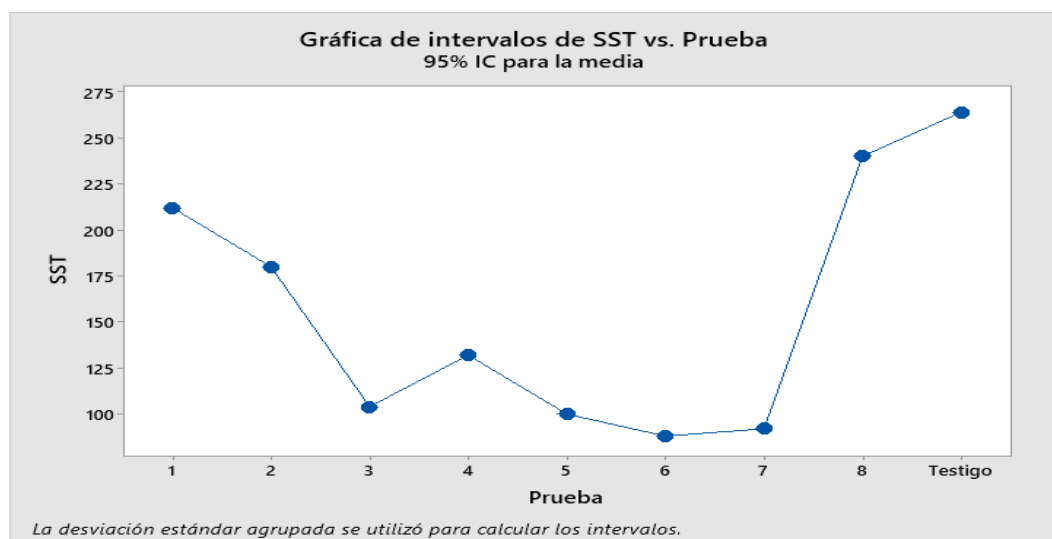
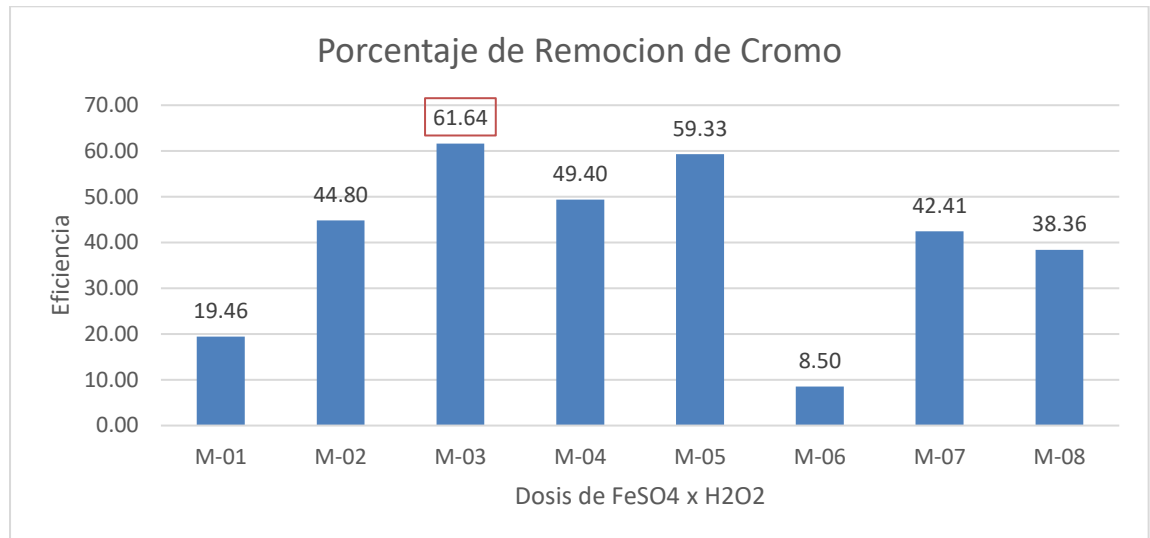


Figura 12

Porcentaje de Remoción de Cromo Eficiencia vs Dosis de FeSO₄ x H₂O₂



En el caso de la remoción de cromo se pudo evidenciar una remoción del 61.64% en la muestra M-03 con una dosis de 250 mg/L de FeSO₄ por 10 ml/L de H₂O₂ al 50%, el cromo al ser un metal pesado y a la vez de estructura compleja, la dosis para degradar este contaminante varía en cuanto a la remoción de DQO, DBO Y SST.

Figura 13

Gráfica de intervalos de Cromo vs Prueba al 95%

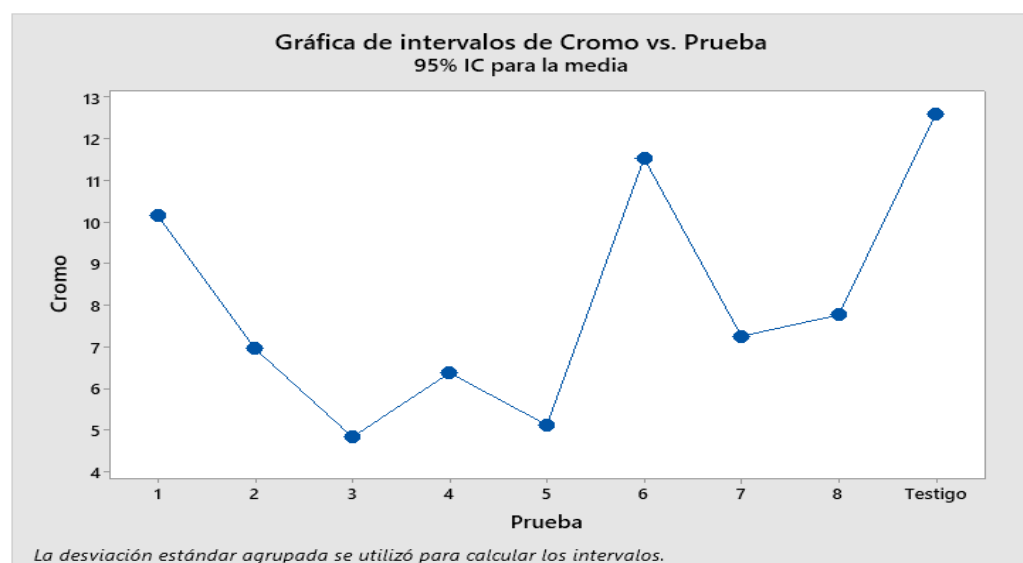
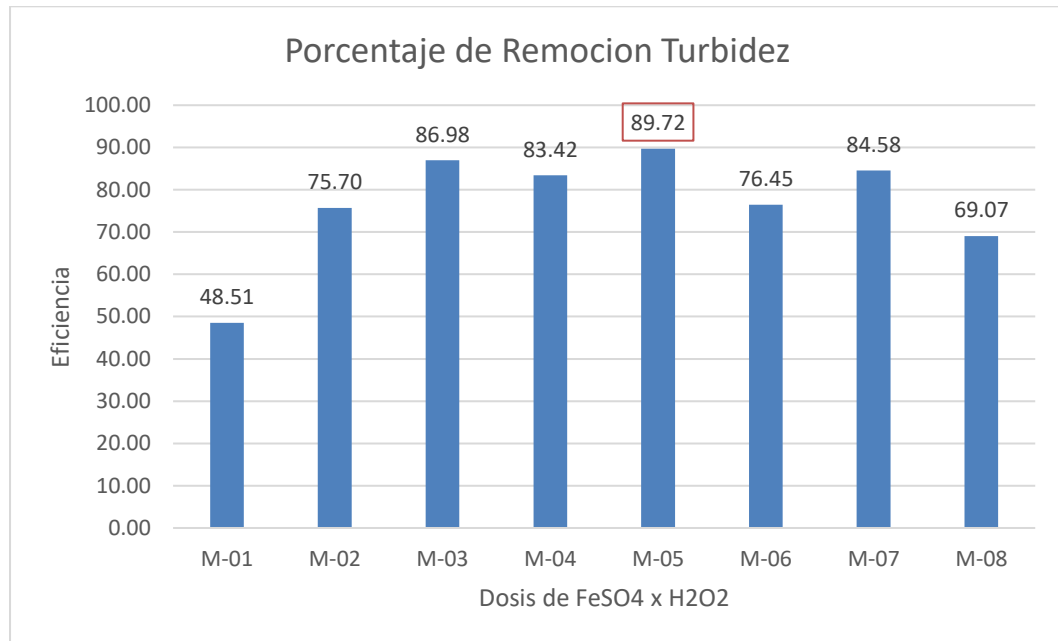


Figura 14

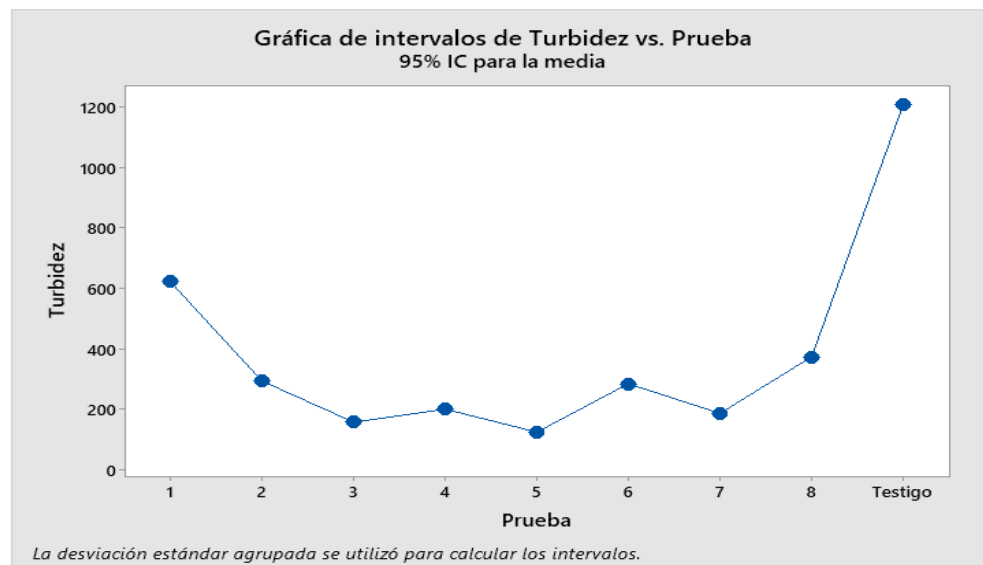
Porcentaje de Remoción de Turbidez Eficiencia vs Dosis de FeSO₄ x H₂O₂



la eficiencia en la remoción de la turbidez tuvo lugar a la muestra M-05 que tiene una dosis de 500 mg/L de FeSO₄ por 10 ml/L de H₂O₂ al 30%, seguido por la M-03, M-07.

Figura 15

Grafica de intervalos de Cromo vs Prueba al 95%



En tanto, se analizo las condiciones óptimas para la reacción utilizando diferentes dosis en el Proceso de Oxidación Avanzada Fenton, lo cual se pudo evidenciar que en todas las muestras existe una considerable remoción de los parámetros evaluados.

CAPÍTULO IV: DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

La presente tesis de investigación tuvo como objetivo evaluar la eficiencia del tratamiento mediante oxidación avanzada en aguas residuales de una empresa curtiembre artesanal con el proceso fenton y encontrar la dosis más adecuada para la remoción de estos contaminantes. Luego de la recolección de muestras para el análisis del laboratorio, los datos arrojaron valores elevados sobrepasando los establecidos por la normativa ambiental vigente en la industria curtiembre.

El método escogido tiene una eficiencia significativa en comparación al tiempo de reacción, el problema es que, para poder realizar la descarga de estas aguas residuales por el alcantarillado, los valores de los parámetros deben ser menores a los LMP.

Para este método es necesario que el pH se encuentre en un rango de 2,7 a 3,1 para que el peróxido de hidrogeno (H_2O_2) pueda reaccionar con los radicales de hidroxilo.

(Arslan et al., 2009) representa la cantidad de peróxido de hidrogeno (H_2O_2) que afecta la eficiencia del proceso fenton, mientras la concentración de hierro afecta su cinética. La concentración de ambos reactivos incrementa la eficiencia con la velocidad de la reacción; por otro lado, al encontrar exceso de hierro puede afectar en la activación de reacciones secundarias, como la formación del precipitado de $Fe(OH)_3$.

(Agudelo et al., 2020) Afirma que la mayor dosis de peróxido de hidrogeno (H_2O_2) al 30% dan lugar a mejor porcentaje de remoción de DQO, incluso mayores a los establecidos de acuerdo con la cantidad DQO removida, en este caso el porcentaje de remoción fue de 27.3% en la DQO en la muestra M-06 que presenta una dosis de 500 mg/L de $FeSO_4$ por 20 ml/L de H_2O_2 al 30%.

En tanto al tiempo del proceso se consideró 30 min con cada muestra, (Baldión y Gómez, 2013) consideran que, entre menor tiempo de retención, menor será el volumen de unidad de oxidación y habrá menor costo, por lo cual en su tratamiento escogen el tiempo de reacción de 1 hora. El factor tiempo influye en la reacción del proceso fenton al igual que la dosificación.

(Becerra y Cadena, 2013) obtuvieron un mayor porcentaje de remoción equivalente a 97.16% en una muestra de 600 ml de agua residual industrial con $t=75\text{min}$, $H_2O_2 = 600\text{ mg/L}$, $Fe^{+2} = 1000\text{ mg/L}$, $T = 20^\circ\text{C}$, $pH = 2.88$, $DQO/H_2O_2 = 6.2$.

La poca información existente en cuanto a nuestra normativa ambiental vigente en la industria curtiembre y a la vez la desinformación que existe de los impactos tanto al medio ambiente como a la salud genera que las empresas dedicadas al rubro no cuenten con la capacitación adecuada para el manejo de sus aguas residuales y en su mayoría son procesos convencionales lo que lleva a una mayor contaminación por parte de estas.

La mayor limitación presentada en la tesis fue la poca información existente del método aplicado a la industria curtiembre en el Perú. Por otro lado, las empresas dedicadas a este rubro no brindan facilidades en cuanto al acceso a sus aguas residuales, sin embargo, se logró llegar a un acuerdo con una empresa artesanal, que permitió el acceso a sus instalaciones y posterior extracción de muestras.

El costo para llevar a cabo un análisis completo es elevado, y se recomienda priorizar los parámetros a ser estudiados para evitar gastos innecesarios por la poca información.

Este proyecto de investigación aportará a futuras investigaciones a encontrar la dosis adecuada del proceso fenton para la remoción de contaminantes presentes en aguas residuales, a la

vez sirve como antecedentes ya que a nivel nacional es muy escasa la literatura de este proceso de oxidación avanzada fenton aplicada en la industria curtiembre.

Se recomienda realizar un filtrado al vacío a las muestras antes de realizar el tratamiento para evidenciar una mayor remoción de los contaminantes.

CONCLUSIONES

Se demostró la eficiencia del tratamiento por oxidación avanzada en aguas residuales de una empresa curtiembre artesanal por medio de diferentes dosificaciones en los reactivos para lograr obtener el mayor porcentaje de remoción en cada uno de los parámetros estudiados (DBO, DQO, SST, Cromo y Turbidez). El peróxido de hidrogeno H_2O_2 y la interacción con el sulfato de hierro $H_2O_2/ FeSO_4$, tuvieron un impacto significativo en el tratamiento de aguas residuales de la curtiembre arsenal al lograr reducir la concentración de estos agentes contaminantes. Se debe tomar en cuenta los tres factores iniciales: como la dosis de sulfato ferroso ($FeSO_4$), dosis de peróxido de hidrogeno (H_2O_2) y tiempo (t).

En conclusión, podemos decir que la mejor dosis en el planteamiento para reducir el cromo es de 250 mg/L de $FeSO_4$ por 10 ml/L de H_2O_2 al 50%, tomando en cuenta que el tiempo de reacción en el proceso fue de 30 minutos lo que nos lleva a añadir que el tiempo es un factor importante; es decir a mayor tiempo mayor remoción y eficiencia del proceso Fenton.

La dosis de la muestra M-06 presenta una dosis de 500 mg/L de $FeSO_4$ sulfato ferroso por 20 ml/L de H_2O_2 peróxido de hidrogeno al 30%, esta dosificación ha logrado la remoción de la mayor cantidad de parámetros evaluados específicamente DQO y DBO.

REFERENCIAS

- Aboulhassan, M.A., Souabi, S. and Yaacoubi, A. (2008) Pollution Reduction and Biodegradability Index Improvement of Tannery Effluents. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 5, 11-16. <https://doi.org/10.1007/BF03325992>
- Agreda Gabriel, A. C. y Dominguez Tolentino, T. S. (2018). Influencia de la concentración de peróxido de hidrogeno y sulfato ferroso en la remoción de la demanda bioquímica de oxígeno de efluentes de curtiembre pretratados mediante coagulación-floculación. [Tesis de pre-grado, Universidad Nacional De Trujillo]. <https://1library.co/document/ky6rp2oy-influencia-concentracion-hidrogeno-bioquimica-curtiembre-pretratados-coagulacion-flocucion.html>
- Agudelo, R., Ovalle, D., & Rodriguez, L. (2020). Aplicación de foto fenton (VIS) para la remoción de sulfuros y DQO en aguas residuales de curtiembre. *Luna Azul*, (50), 215–228. <https://doi.org/10.17151/luaz.2020.50.11>
- Aguiar Roque, Y., Rodríguez Muñoz, S., Fernández Santana, E., & Cabrera Galdo, E. (2017). Tratamiento de residuales líquidos de tenerías utilizando membranas. *Ingeniería Hidráulica y Ambiental*, 38(1), 113-127. Recuperado de: http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1680-03382017000100009&lng=es&tlng=es.
- Amado Alvarez, J., Pérez Cutillas, P., Alatorre Cejudo, L. C., Ramírez Valle, O., Segovia Ortega, E. F. & Alarcón Cabañero, J. J. (2019). Análisis multiespectral para la estimación de la turbidez como indicador de la calidad del agua en embalses del estado de Chihuahua, México. *Revista Geográfica de América Central*, (62), 33-61. <https://dx.doi.org/10.15359/rgac.62-1.2>

- Arslan Alaton, I., Tureli, G. y Olmez Hanci, T. (2009). Treatment of azo dye production wastewaters using Photo-Fenton-like advanced oxidation processes: Optimization by response surface methodology. *Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry*. 202. 142-153. 10.1016/j.jphotochem.2008.11.019.
- Asensi-Artiga, V., & Parra-Pujante, A. (2002). El método científico y la nueva filosofía de la ciencia. *Anales de Documentación*, 5, 9–19. Recuperado de: <https://revistas.um.es/analesdoc/article/view/2251>.
- Azuero Azuero, A. E. (2019). Significatividad del marco metodológico en el desarrollo de proyectos de investigación. *Revista Arbitrada Interdisciplinaria Koinonía*, 4(8), 110–127. <https://doi.org/10.35381/r.k.v4i8.274>.
- Baldión Góngora, B. L., y Gómez Barragán, D. J. (2013). Evaluación de la degradación de fenoles en solución acuosa mediante procesos Fenton y Complejo Fe-Edta a nivel de laboratorio. Retrieved from https://ciencia.lasalle.edu.co/ing_ambiental_sanitaria/491.
- Becerra Díaz, M. S. y Cadena Ibáñez, S. F. (2016) Evaluación de la aplicación del método fenton a nivel laboratorio en la planta de tratamiento de aguas residuales de la empresa Aguas San Juan S.A.S. Fundación Universidad de América. Retrieved from <http://hdl.handle.net/20.500.11839/618>.
- Bianco, B., De Michelis, I., & Vegliò, F. (2011). Fenton treatment of complex industrial wastewater: optimization of process conditions by surface response method. *Journal of Hazardous Materials* 186 (2-3), 1733-1738
- Bianco, B., De Michelis, I., & Vegliò, F. (2011). Fenton treatment of complex industrial wastewater: optimization of process conditions by surface response method. *Journal of Hazardous Materials* 186 (2-3), 1733-1738
- Bisquerra, R. (1989). *Métodos de investigación educativa: guía práctica*. Ediciones CEAC.

https://bibliotecadigital.uchile.cl/discovery/fulldisplay/alma991004585469703936/56UDC_INST:56UDC_INST.

Chibinda, C., Arada Pérez, M., y Pérez Pompa, N.. (2017). Caracterización por métodos físico-químicos y evaluación del impacto cuantitativo de las aguas del Pozo la Calera. *Revista Cubana de Química*, 29(2), 303-321. Recuperado en 03 de mayo de 2024, de http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2224-54212017000200010&lng=es&tlng=es.

Curo Barreto, L. y Mendoza García, R. C. (2020). Tratamiento de efluentes de la industria de curtiembre, etapa pelambre mediante electro – fenton. [Tesis de pre-grado, Universidad Cesar Vallejo]. <https://hdl.handle.net/20.500.12692/53267>

Durán Moreno, A., García González, S.A., Gutiérrez Lara, M.R., Rigas, F., & Ramírez Zamora, R.M. (2011). Assessment of Fenton's reagent and ozonation as pre-treatments for increasing the biodegradability of aqueous diethanolamine solutions from an oil refinery gas sweetening process. *Journal of Hazardous Materials* 186, 1652–1659

Fernandez Collado, C. y Baptista Lucio, P. (2010). Metodología de la investigación. Interamericana Editores S.A. <https://www.esup.edu.pe/wp-content/uploads/2020/12/2.%20Hernandez,%20Fernandez%20y%20Baptista-Metodolog%C3%ADa%20Investigacion%20Cientifica%206ta%20ed.pdf>.

Flores, D., Albacura, E., & Achote, J. (2020). Tratamiento de aguas residuales de la industria curtiembre mediante carbonización hidrotermal. *Associação Ibérica De Sistemas E Tecnologias De Informacao*, (16469895), 229–239. Recuperado de <https://www.proquest.com/docview/2404399073?pq->

[origsite=gscholar&fromopenview=true](#)

- Gonzalez, L. A. (2019). Gestión para mitigar los impactos ambientales generados por las curtiembres de Bogotá con el fin de concientizar sobre el cambio climático. <http://hdl.handle.net/10654/21130>.
- Greenpeace. (14 de marzo de 2012). Nuevas evidencias de contaminación en la Cuenca Mataza-Riachuelo. https://www.dpn.gob.ar/documentos/20160517_30814_556734.pdf
- Grömer, Karina & Ruß-Popa, Gabriela & Saliari, Konstantina. (2017). Products of animal skin from Antiquity to the Medieval Period. *Annalen des naturhistorischen Museums in Wien, Serie a.* 119. 69-93.
- Gutiérrez Pulido, H. y Salazar, R. (2012). Análisis y Diseño de Experimentos. https://www.researchgate.net/publication/44401609_Analisis_y_Disenode_Experimentos.
- Hernández R, (2014) Metodología de la Investigación <https://www.esup.edu.pe/wp-content/uploads/2020/12/2.%20Hernandez,%20Fernandez%20y%20Baptista-Metodolog%C3%ADa%20Investigacion%20Cientifica%206ta%20ed.pdf>
- Huilcarema, E., & Quizhpi, E. (2016). evaluación de alternativas y propuesta de un sistema de tratamiento para reducir la demanda química de oxígeno (DQO) presente en las aguas de formación provenientes de efluentes de industrias de procesamiento de gas natural. Universidad de Guayaquil. https://www.researchgate.net/publication/319234260_evaluacion_de_alternativas_y_propuesta_de_un_sistema_de_tratamiento_para_reducir_la_demanda_quimica_de_oxigeno_dqo_presente_en_las_aguas_de_formacion_provenientes_de_efluentes_de_industrias_de_procesa.

- Huilcarema, K. y Jadan, E. (2016). Evaluación de alternativas y propuesta de un sistema de tratamiento para reducir la demanda química de oxígeno (DQO) presente en las aguas de formación provenientes de efluentes de industrias de procesamiento de gas natural. [Tesis de pre-grado, Universidad De Guayaquil]. https://www.researchgate.net/publication/319234260_evaluacion_de_alternativas_y_propuesta_de_un_sistema_de_tratamiento_para_reducir_la_demanda_quimica_de_oxigeno_dqo_presente_en_las_aguas_de_formacion_provenientes_de_efluentes_de_industrias_de_procesa.
- Jarrin, (2016): Reducción De Sulfuros En El Agua Residual De La Industria De La Curtiembre <http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/6907/1/T-UCE-0017-0019-016.pdf>
- Jian, S., Wenyi, T., Wuyong, C. (2011). Kinetics of enzymatic unhairing by protease in leather industry. *Journal of Cleaner Production*. 19: 325-331.
- Llopis Castelló, D. (2016). Metodología de la investigación. GIIC. <https://poliformat.upv.es/access/content/user/24389381/Contenido%20abierto%20al%20p%C3%BAblico/Metodolog%C3%ADa%20de%20la%20investigaci%C3%B3n/3.2%20Metodologi%C3%A1%20experimental.pdf>.
- López Ramírez, M. Á., Castellanos Onorio, O. P., Lango Reynoso, F., Castañeda Chávez, M., Montoya Mendoza, J., Sosa Villalobos, C. A., & Ortiz Muñoz, B. (2021). Oxidación avanzada como tratamiento alternativo para las aguas residuales. Una revisión. *Enfoque UTE*, 12(4), 76-87. <https://doi.org/10.29019/enfoqueute.769>
- Marreros, P. M., & Meléndez, M. F. (2021). Análisis de la viabilidad y eficiencia del proceso de oxidación avanzada Fenton aplicado como tratamiento de aguas residuales industriales. [Tesis de licenciatura, Universidad Privada

del Norte]. Repositorio de la Universidad Privada del Norte.
<https://hdl.handle.net/11537/29771>

Melgar Buendia, J.P. (2019). Remoción de Sólidos Suspendidos y Sulfuros en El Efluente de Pelambre de La Industria Curtiembre Convencional Mediante el Compuesto Comercial a Base De Zeolita (Neonite). Universidad Nacional Tecnológica de Lima Sur.
<https://repositorio.untels.edu.pe/xmlui/handle/123456789/205>

Meza García, Mónica. (2011). Disturbios del estado ácido-básico en el paciente crítico. Acta Médica Peruana, 28(1), 46-55. Recuperado en 03 de mayo de 2024, de http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1728-59172011000100008&lng=es&tlng=es.

Müggenburg, M. & Pérez, I. (2007). Tipos de estudio en el enfoque de investigación cuantitativa. Enfermería Universitaria. 2007, 4(1), 35-38. ISSN: 1665-7063. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=358741821004>

Pérez Cabrera, I. & Müggenburg Rodríguez V., M. C. (2007). Tipos de estudio en el enfoque de investigación cuantitativa. Enfermería Universitaria, 4 (1), 35-38. [fecha de Consulta 30 de Junio de 2022]. ISSN: 1665-7063. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=358741821004>

Ponnusami, B. y Muthukumar, K. (2014). A review on Fenton and improvements to the Fenton process for wastewater treatment. Journal of Environmental Chemical Engineering. 2. 557–572. 10.1016/j.jece.2013.10.011.

Pulido, M. (2015). Ceremonial y protocolo: métodos y técnicas de investigación científica. 31(1), 1137-1156. ISSN: 1012-1587. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=31043005061>.

Rivadeneira Pacheco, J. L., Barrera Argüello, M. V., & De La Hoz Suárez, A. I. (2020). Análisis general del spss y su utilidad en la estadística. E-IDEA

Journal of Business Sciences, 2(4), 17-25. Recuperado a partir de
<https://revista.estudioidea.org/ojs/index.php/eidea/article/view/19>.

Rodriguez, M., & Barrera, C. (2020). Proceso de oxidación avanzada en el tratamiento de agua. Universidad Autónoma Del Estado de México. http://ri.uaemex.mx/bitstream/handle/20.500.11799/109361/Procesos_Oxidacion.pdf?sequence=1&isAllowed=y.

Román, M., & Martínez, R. (2017). Estudio del proceso de oxidación avanzada por medio de la reacción fenton en aguas residuales provenientes de plantas extractoras de oro [Universidad De Guayaquil]. <http://repositorio.ug.edu.ec/bitstream/redug/20469/1/401-1261%20pdf>.

Silva Flores, J. Y. (2016). Efecto del coagulante Alúmina en la remoción de sulfuros y sólidos suspendidos del efluente de pelambre, Inversiones Harod S.A.C. Lima – Perú [Tesis de pre-grado, Universidad Cesar Vallejo]. https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/6996/silva_fj.pdf?sequence=1&isAllowed=y.

Silva Flores, J. Y. (2016). Efecto del coagulante Alúmina en la remoción de sulfuros y sólidos suspendidos del efluente de pelambre, Inversiones Harod S.A.C. Lima – Perú [Tesis de pre-grado, Universidad Cesar Vallejo]. https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/6996/silva_fj.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Silva, M. & Salinas, D. (2022). La contaminación proveniente de la industria curtiembre, una aproximación a la realidad ecuatoriana. Revista Científica UISRAEL, 9(1), 69–80. <https://doi.org/10.35290/rcui.v9n1.2022.427>

Sosa, C., & Hoyos, W. (2016). Determinación de las concentraciones óptimas de peróxido de hidrógeno e iones Fe²⁺ en la reducción de la demanda bioquímica de oxígeno en vinazas mediante el proceso Fenton. [Universidad Nacional Pedro Ruiz

Gallo].<https://repositorio.unprg.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12893/845/BC-TES-5667.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.

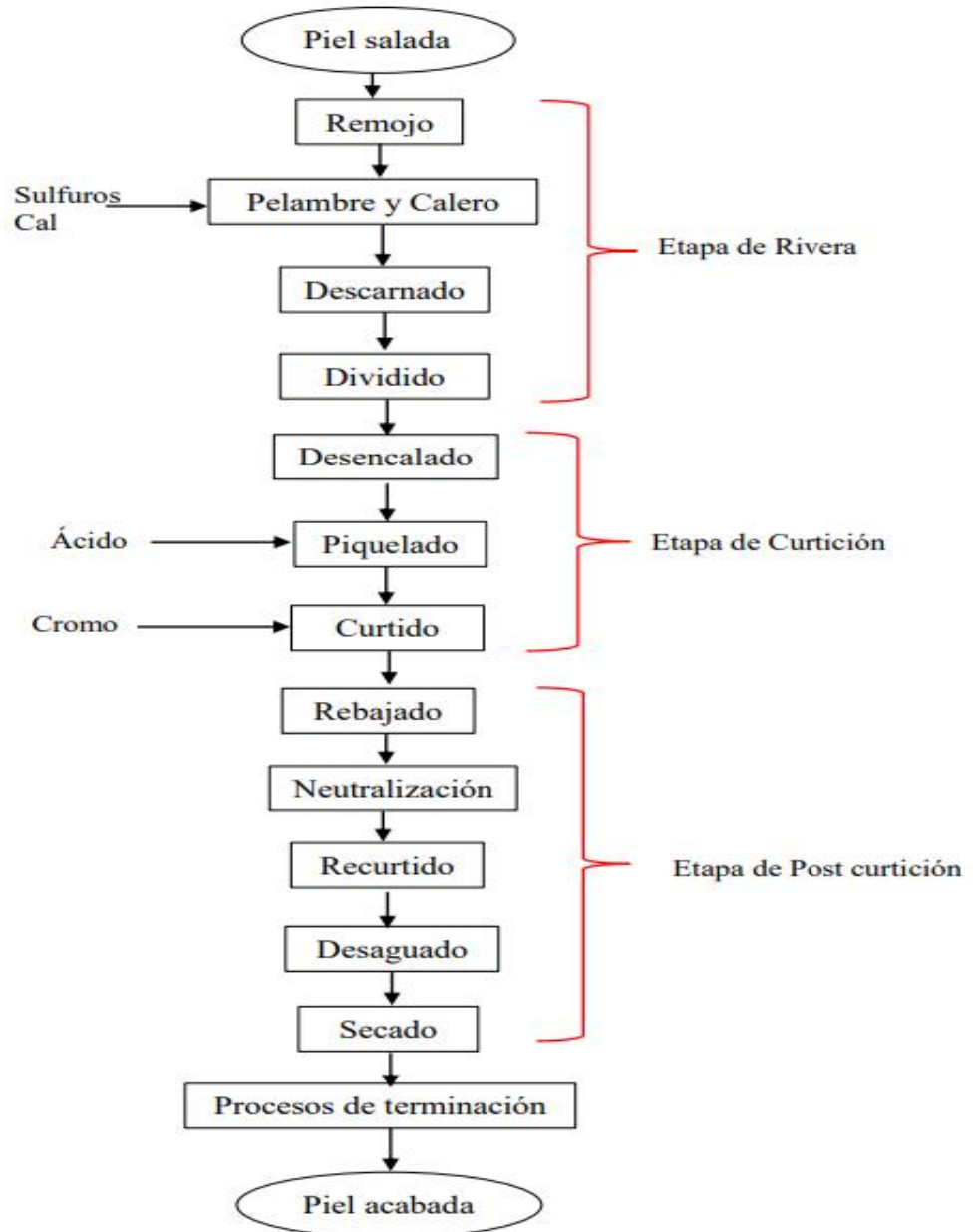
Ugalde Binda, N., & Balbastre-Benavent, F. (2022). Investigación Cuantitativa e investigación Cualitativa: Buscando las ventajas de las diferentes metodologías de investigación. *Ciencias económicas* (San José, Costa Rica), 31(2), 179–187. <https://doi.org/10.15517/rce.v31i2.12730>

Vega Ventosilla, V. (2022). Remoción de DQO y DBO por oxidación fenton en efluentes de curtiembre de la empresa IPEPESA, 2022 [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Federico Villarreal]. https://repositorio.unfv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.13084/8231/UNFV_FIGAE_Alcantara_Toribio_Rosalina_Julia_Titulo_profesional_2023.pdf?sequence=1&isAllowed=y.

Vilardi, G., Rodriguez, J., Ochando, J., Verdone, N., Martinez, A. & Di Palma, L. (2018). Large Laboratory-Plant application for the treatment of a Tannery wastewater by Fenton oxidation: Fe(II) and ZVI catalysts comparison and kinetic modelling. *Process Safety and Environmental Protection*. 117. 10.1016/j.psep.2018.06.007.

Anexos

Anexo 1: Diagrama de flujo del proceso de curtición



Anexo 2: Emisiones de residuos en la etapa del curtido

ETAPA	Aguas Residuales	Residuos	Emisiones
Remojo, Pelambre, Desencalado y rendido o purga	DBO, Sulfuro, DQO, SS, pH Básico, cal, nitrógeno, SD	Lana, Pelo, lodos, cálcicos	Sulfuros, olores
Piquel, curtido y recurtido	Cromo (Cr ⁺³), sal, DBO, SS, DQO, SD, fungicidas, agentes complejantes, pH ácido	Desechos de lodos de tratamiento de aguas residuales	Humos ácidos, sulfuros
Tintura o Teñido	Color elevado, Químicos colorantes, AOX, disolventes	Restos de producción químicos y colorantes	Amoniaco, Formaldehido, fenoles
Acabados	soluciones acuosas de agentes de acabado	Restos de productos químicos	Vapores orgánicos, Formaldehido

Fuente: (Jarrin, 2016)

Anexo 3: Documento enviado para extracción de muestras

"Año del Fortalecimiento de la Soberanía Nacional"

Lima, octubre 2022

Presente. -


Me es grato dirigirme a usted para saludarlo cordialmente, mi nombre es Karoline Nikole Rodriguez Purizaca DNI 74047989, estudiante de la Universidad Privada del Norte con código N00247046, actualmente me encuentro realizando la tesis titulada "TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE UNA EMPRESA CURTIEMBRE EN TRUJILLO MEDIANTE OXIDACIÓN AVANZADA - FENTON, 2022", motivo por el cual me dirijo a su distinguida empresa para solicitar la extracción de una muestra de sus agua residuales del proceso de Curtiembre, con la finalidad de desarrollar mi proyecto de tesis para la obtención del título profesional de Ing. Ambiental, para utilidad con fines académicos, de antemano muchas gracias.

Indicar si el Representante que autoriza la información de la empresa, solicita mantener el nombre o cualquier distintivo de la empresa en reserva, marcando con una "X" la opción seleccionada.

- (X) Mantener en Reserva el nombre o cualquier distintivo de la empresa; o
 () Mencionar el nombre de la empresa.

Teléfono: 996250886
Correo: nikoleropu@gmail.com

Anexo 4: Carta de autorización de uso de información de empresas

CARTA DE AUTORIZACIÓN DE USO DE INFORMACIÓN DE EMPRESA PARA OBTENCIÓN DE GRADO DE BACHILLER Y TÍTULO PROFESIONAL	
---	---

Lima, octubre 2022

Yo **Danny Saúl Morillo Flores**
(Nombre del representante legal o persona facultada en permitir el uso de datos)
identificado con DNI **18144547**, en mi calidad de **Gerente General**
(Nombre del puesto del representante legal o persona facultada en permitir el uso de datos)
..... del área de **Producción**
(Nombre del área de la empresa)
..... de la empresa/institución **Curtiduría Industrial Morillo Hermanos S.R.L.**
(Nombre de la empresa)
.....
con R.U.C N° **20477687564**, ubicada en la ciudad de **Trujillo**

OTORGO LA AUTORIZACIÓN,

Al señor(a) **Karoline Nikole Rodríguez Purizaca**,
identificado con DNI N° **74047989**, egresado/bachiller de la carrera de **Ingeniería Ambiental** para que
utilice la siguiente información de la empresa:

Ficha Ruc, Extracción de Muestra de aguas residuales, la información brindada será utilizada con fines académicos.

con la finalidad de que pueda desarrollar su Trabajo de Investigación para optar el grado de bachiller ()
o Tesis () o Trabajo de Suficiencia Profesional () para optar al grado de Bachiller () o el Título
Profesional ().

Adjunto a esta carta, está la siguiente documentación:

- (X) Ficha RUC (Para Tesis o investigación para grado de bachiller)
- () Vigencia de Poder (Para Informes de Suficiencia profesional)
- () Otro (ROF, MOF, Resolución, etc. para el caso de empresas públicas válido tanto para Tesis, investigación para grado de bachiller e Informe de Suficiencia Profesional)

Indicar si el Representante que autoriza la información de la empresa, solicita mantener el nombre o cualquier distintivo de la empresa en reserva, marcando con una "X" la opción seleccionada.

- (X) Mantener en Reserva el nombre o cualquier distintivo de la empresa; o
- () Mencionar el nombre de la empresa.



Firma y sello del Representante Legal
DNI: 18144547

El Egresado o Bachiller declara que los datos emitidos en esta carta y en el Trabajo de Investigación, en la Tesis o Trabajo de Suficiencia Profesional son auténticos. En caso de comprobarse la falsedad de datos, el Egresado será sometido al inicio del procedimiento disciplinario correspondiente; y asimismo, asumirá toda la responsabilidad ante posibles acciones legales que la empresa, otorgante de información, pueda ejecutar.



Firma del Egresado o Bachiller
DNI: 74047989

CÓDIGO DE DOCUMENTO	COR-F-REC-VAC-05.04	NÚMERO VERSIÓN	03	PÁGINA	Página 1 de 1
FECHA DE VIGENCIA	13/09/2019				

Anexo 6: Informe de ensayo



**SISTEMA DE SERVICIOS Y ANÁLISIS
QUÍMICOS S.A.C. SLAB**

INFORME DE ENSAYO
IE-141022-02

1. DATOS DEL CLIENTE

1.1 Cliente : KAROLINE NIKOLE RODRIGUEZ PURIZACA
1.2 RUC/DNI : 74047989

2. FECHAS

2.1 Inicio : 14 de octubre de 2022
2.2 Fin : 27 de octubre de 2022
2.3 Emisión de informe : 28 de octubre de 2022

3. CONDICIONES AMBIENTALES DE ENSAYO

3.1 Temperatura : 20.1 °C
3.2 Humedad Relativa : 50 %

4. ENSAYO SOLICITADO Y METODOLOGÍA UTILIZADA

4.1. ENSAYOS FÍSICOQUÍMICOS

ENSAYO	MÉTODO
Demanda Bioquímica de Oxígeno	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5210 B, 23 rd Ed. Biochemical Oxygen Demand (BOD). 5-Day BOD Test 2017
Demanda Química de Oxígeno	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5220 D, 23 rd Ed. Chemical Oxygen Demand, Closed Reflux, Colorimetric Method. 2017
pH	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 4500-H
Turbidez	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2130B.22nd Ed
Sólidos Totales Suspendidos	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2540 D –B.23 nd Ed
Cromo	EPA METHOD 200.7

5. DATOS DE LA MUESTRA ANALIZADA

Tabla N°1: DATOS DE LA MUESTRA ANALIZADA

Código Interno de Muestra	Tipo de Muestra	Datos Adicionales
S-5050	Agua Residual	MUESTRA DE AGUA RESIDUAL 13/10/822

- Los Resultados pertenecen a las muestras entregadas al laboratorio
- Queda prohibida la copia parcial de este informe sin el consentimiento por escrito de SISTEMA DE SERVICIOS Y ANÁLISIS QUÍMICOS SAC.

DIEGO ROMANO VERGARAY O'ARRIGO
QUÍMICO
CQP. 1337

6. DESCRIPCIÓN DE LA PARTE EXPERIMENTAL (ESTABLECIDO POR EL CLIENTE)

6.1. Procedimiento Experimental

I. Reactivos usados

- ✓ Sulfato de Hierro Heptahidratado ($\text{FeSO}_4 \cdot 7 \text{H}_2\text{O}$)
- ✓ Peróxido de Hidrógeno 30% (H_2O_2)
- ✓ Peróxido de Hidrógeno 50% (H_2O_2)

Tabla N°2: FACTORES Y NIVELES

Factor (Variable independiente)	Nivel 1 (-)	Nivel 2 (+)
Concentración de peróxido de hidrógeno al 30% (mL/L).	10	20
Concentración de peróxido de hidrógeno al 50% (mL/L).	10	20
Cantidad de sal de hierro II (mg/L)	250	500

II. Diseño Experimental

Las condiciones experimentales para esta prueba fueron las siguientes:

Tabla N°3: CONDICIONES EXPERIMENTALES

Orden de Corrida	Factores			Variables Dependientes
	Sal de Fe II. (mg/L)	H_2O_2 30% (mL/L)	H_2O_2 50% (mL/L)	
Testigo	-	-	-	-
1	250	10	-	- Demanda Bioquímica de Oxígeno, DBO
2	250	20	-	-
3	250	-	10	- Demanda Química de Oxígeno, DQO
4	250	-	20	-
5	500	10	-	- pH
6	500	20	-	- Turbidez
7	500	-	10	- Sólidos Totales Suspendedos
8	500	-	20	- Cromo

Nota:

Para las corridas experimentales se ha considerado las siguientes condiciones:

- Temperatura inicial de todas las muestras fue de 40°C
- PH inicial de todas las muestras fue de 3.0 Unid. pH
- Velocidad de mezcla 300 rpm
- Tiempo de mezcla: 30 min
- Tiempo de sedimentación: 30 min

- Los Resultados pertenecen a las muestras entregadas al laboratorio
- Queda prohibida la copia parcial de este informe sin el consentimiento por escrito de SISTEMA DE SERVICIOS Y ANÁLISIS QUÍMICOS S.A.C.


DIEGO ROMÁN VERGARAY DURRIGO
QUÍMICO
CQP. 1337

7. RESULTADOS

7.1. RESULTADOS OBTENIDOS - TRATAMIENTOS

Se presentan los resultados obtenidos de los diversos tratamientos de sulfato de hierro y peróxido de hidrógeno de acuerdo al procedimiento experimental.

Tabla N°4: RESULTADOS FISICOQUÍMICOS

Orden de Corrida	Sal de Fe II. (mg/L)	H ₂ O ₂ 30% (mL/L)	H ₂ O ₂ 50% (mL/L)	Resultados					
				DBO mg/L	DQO mg/L	pH	Turbidez NTU	SST mg/L	Cromo mg/L
Testigo	-	-	-	1990.95	3981.89	3.50	1206.0	264.0	12.59
1	250	10	-	1847.32	3694.64	2.60	621.0	212.0	10.14
2	250	20	-	1576.02	3152.04	3.10	293.0	180.0	6.95
3	250	-	10	1607.94	3215.88	3.30	157.0	104.0	4.83
4	250	-	20	1607.94	3215.88	3.00	200.0	132.0	6.37
5	500	10	-	1496.23	2992.46	3.00	124.0	100.0	5.12
6	500	20	-	1448.35	2896.7	2.60	284.0	88.0	11.52
7	500	-	10	1480.27	2960.54	2.80	186.0	92.0	7.25
8	500	-	20	1464.31	2928.62	3.10	373.0	240.0	7.76



Imagen N°1: Digestor DQO, Multiparámetro y Turbidímetro



Imagen N°2: Otros equipos usados

Anexo 7: Matriz de Operacionalización

MATRIZ OPERACIONALIZACION DE VARIABLES							
TITULO:	“Eficiencia en el Tratamiento de Aguas Residuales de una Empresa Curtiembre Artesanal, Mediante Oxidación Avanzada – Fenton, en la Ciudad de Trujillo, 2022”						
PROBLEMÁTICA	OBJETIVOS	VARIABLES	DEFINICION CONCEPTUAL	DEFINICION OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES	ESCALA DE MEDICION
¿De qué manera el tratamiento de oxidación avanzada genera efectos en las aguas residuales de una empresa Curtiembre artesanal mediante el proceso Fenton, Trujillo-2022?	General: El objetivo principal de investigación es el demostrar la eficiencia del tratamiento por oxidación avanzada en aguas residuales de una empresa curtiembre artesanal mediante el proceso Fenton.	Tratamiento de Aguas Residuales	son el conjunto de operaciones y de procesos físicos, químicos y biológicos, que se utilizan con el proposito de depurar las aguas residuales hasta un nivel tal que permita alcanzar la calidad requerida para su disposición final, o su aprovechamiento mediante el reúso	Medir los parametros fisicoquimicos de agua residuales de la empresa curtiembre artesanal, antes y despues del tratamiento.	Control	Parametros: pH, turbidez, Cromo, DBOO, DQO, SST	De Razon
		Proceso Oxidacion Avanzada Fenton	es una reacción producida con peróxido de hidrógeno, y sal de hierro (II), este método es viable y a la vez eficiente para poder aplicar en los efluentes de actividades industriales. Cuenta con óptimas condiciones de reacción y cotizando precios del mercado nacional.	Demostrar la eficiencia del tratamiento comparando los valores de los parametros	Ejecucion	Valores del porcentaje de remocion de los parametros evaluados	De Razon